

АНАЛИЗ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ИНДУКЦИОННЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНЫХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ

Анализ магнитных полей в индукционных машинах с учетом насыщения стальных участков магнитопровода может быть проведен при помощи магнитных схем замещения [1, 2]. В работе рассматривается режим холостого хода асинхронного двигателя

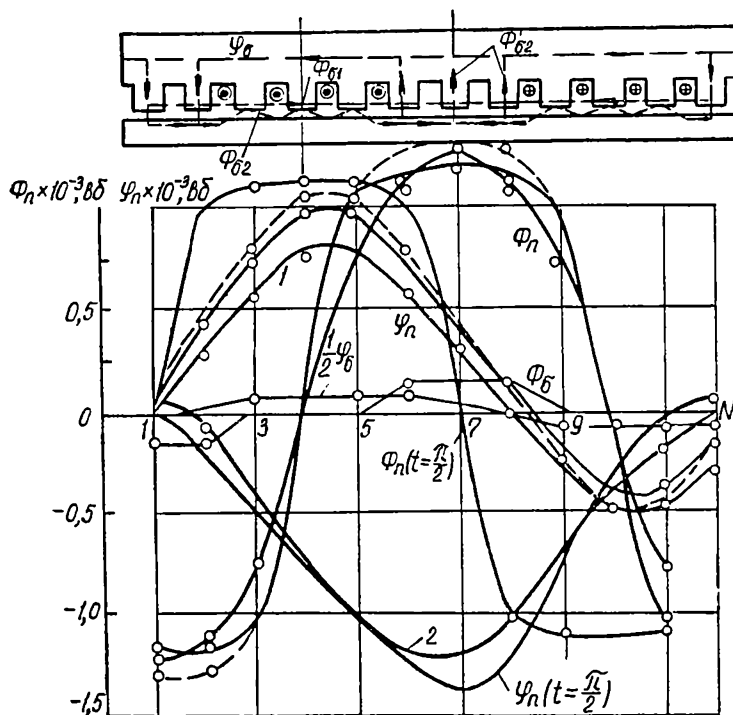


Рис. 1. Распределение полей рассеяния и кривые индукции основного и суммарного (с рассеянием — пунктир) потоков в зубцах и ярме статора ЛАД.

с двухтоковым питанием и линейного асинхронного двигателя (ЛАД). Необходимость использования развернутых схем замещения вызвана здесь сложностью потокорасщепления в отдельных частях машины. Насыщение различных зубцов и участков ярма постоянно во времени в любой системе пространственных координат, что ведет к изменению величин сопротивлений в упомянутых схемах для каждого момента времени (рис. 1 и 2).

Соответственно участкам спиннок и элементам «зубец-зазор» машины вводятся нелинейные сопротивления R_{an} и $R_{\delta zn}$ в схеме замещения (рис. 3, а), Φ_n и Φ_n выражают потоки в ярме и зубце, а F_n — н.с. паза индуктора. $R_{ш}$ и $R_{ш.л}$ (при замкнутых P_1 , P_2 и разомкнутом P_3) соответствуют торцевому и лобовому шунтированию рабочего зазора в линейном двигателе. Возможная неравномерность воздушного зазора на входе и выходе ЛАД может быть легко учтена соответствующим изменением сопротивлений $R_{\delta zn}$.

Описанная схема замещения используется для отыскания составляющих основного потока при заданных токах в обмотках индуктора. Расчет потоков сводится к решению системы нелинейных уравнений типа

$$f_i(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_j, \dots, \Phi_k) = 0, \quad (2)$$

где $i = n = 1, 2, \dots, k$; $j = 1, 2, \dots, k$.

Алгоритм расчета приведен в [2]. Корни системы находятся методом Ньютона [3].

Потокораспределение для конкретных двигателей при $\omega t = 0$ и $\omega t = \frac{\pi}{2}$ показано на рис. 1 (ЛАД) и рис. 2 (АО 2 41—2 с двухтоковым питанием). Видно, что потоки в зубцах и спинках достигают значительных величин (например для ЛАД $2\Phi_{\max}$ по сравнению с обычным двигателем при $\omega t = \frac{\pi}{2}$), в результате чего сопротивления R_{an} и $R_{\delta zn}$ могут существенно превышать R_δ .

Для рассматриваемого линейного двигателя справедливы соотношения

$$\frac{R_{ш}}{R_\delta} = 6,5; \quad \frac{R_{ш.л}}{R_\delta} = 25.$$

В этом случае без ущерба для точности лобовым шунтированием пренебрегалось.

Если допустить, что спинка не насыщена ($R_{an} = 0$), а $\Phi_{ш.л}$ и $\Phi_{ш}$ равны 0, то потокораспределение в ЛАД можно найти по обычной методике расчета асинхронных двигателей [4] (кривые 1, 2 на

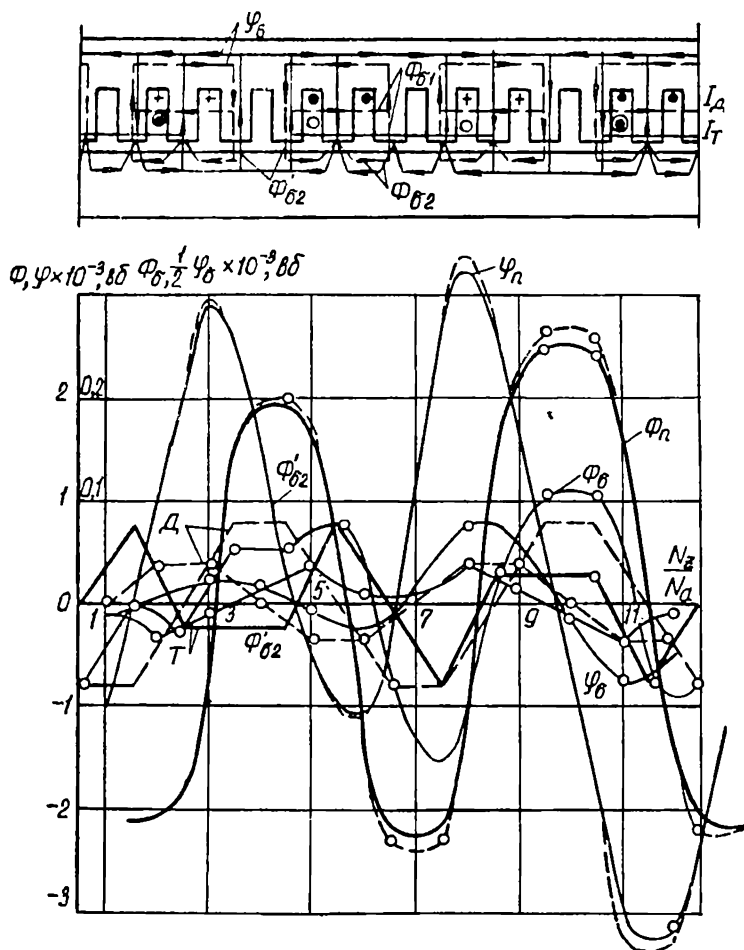


Рис. 2. Распределение полей рассеяния и кривые индукции основного и суммарного (с рассеянием — пунктир) потоков в зубцах и яме статора АО 2-41-2:

D — поля, создаваемые двигательной обмоткой, T — тормозной.

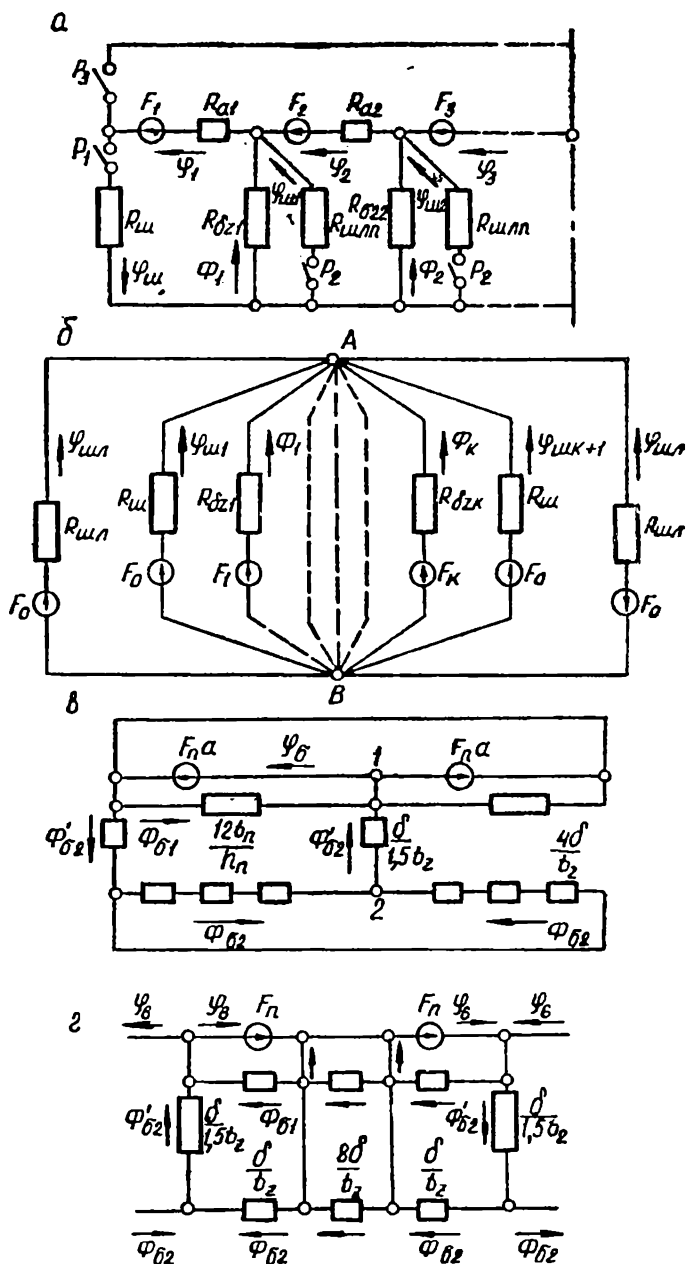


рис. 1). С учетом потоков шунтирования схема рис. 3, а преобразуется к виду схемы рис. 3, б. Потоки в зубцах Φ_n определяются методом узловых потенциалов с применением последовательных приближений

$$F_{AB} = \frac{\sum_1^k \frac{1}{R_{\delta z l}} F_l + 2F_0 \left(\frac{1}{R_{ш}} + \frac{1}{R_{шл}} \right)}{\sum_1^k \frac{1}{R_{\delta z l}} + 2 \left(\frac{1}{R_{ш}} + \frac{1}{R_{шл}} \right)}, \quad (3)$$

где

$$F_0 = -F_{\text{пост}};$$

$$F_l = \sum_1^l F_n - F_{\text{пост}};$$

$$R_{ш} = \frac{1}{k} R_{шл};$$

$F_{\text{пост}}$ — постоянная составляющая в кривой намагничивающей силы обмотки статора.

Так, например, найденные в первом приближении $\Phi_{ш1}$ и $\Phi_{ш, k+1}$ с учетом рис. 1 составили соответственно $0,41 \cdot 10^{-3}$ и $0,37 \cdot 10^{-3}$ вб.

В ряде случаев значительное влияние на насыщение путей основного потока оказывают потоки пазового и «зигзаг» рассеяния (см. рис. 1 и 2). Это влияние можно учесть приближенно по следующей методике:

1. Согласно намеченному распределению потоков (например, рис. 1 и 2) при определенном ωt производится построение схем замещения для потока рассеяния в виде рис. 3, в, г.

2. Рассчитываются потоки $\Phi_{\sigma 1}, \Phi_{\sigma 2}, \Phi'_{\sigma 2}$ без учета насыщения стали для заданных F_n .

3. Определяются суммарные (главный и рассеяния) потоки в ярме и зубцах.

4. Отыскиваются уточненные значения н.с. F_n путем обхода по соответствующим контурам схемы замещения.

С достаточной степенью точности можно записать аналитические выражения для отыскиваемых потоков и индукций:

$$\begin{aligned}
\Phi_m &= \mu_0 \cdot \frac{F_n a n b_z l}{2\delta}; \\
\Phi_{\sigma 1} &= \mu_0 \cdot \frac{F_n h_n l}{3b_n} = \frac{2}{3} \cdot \frac{h_n}{n b_z b_n a} \delta \Phi_m; \\
\Phi_{\sigma 2} &= \mu_0 \cdot \frac{F_n a b_z l}{4(a-1)\delta} = \frac{2}{4(a-1)n} \Phi_m; \\
\frac{\Phi_{\sigma 2}}{\Phi_{\sigma 1}} &= \frac{3}{4} \cdot \frac{b_z a b_n}{(a-1)\delta}; \\
B_{\sigma 2} &= \mu_0 \cdot \frac{F_n a}{2(a-1)\delta} = \frac{1}{(a-1)} \cdot B_m; \\
B'_{\sigma 2} &= \mu_0 \cdot \frac{F_n a}{\left(\frac{z}{2p} - a + 1\right)(a-1)\delta} = \frac{1}{\left(\frac{z}{2p} - a + 1\right)(a-1)} \cdot B_m,
\end{aligned} \tag{4}$$

где a — число обтекаемых током пазов статора на одном полюсном делении, $a \geq 3$;

n — число зубцов, по которым проходит основной поток;

F_n — м. д. с. паза от соответствующей обмотки;

B_m, Φ_m — индукция и поток взаимоиндукции;

$\Phi_{\sigma 1}$ — поток пазового рассеяния;

$\Phi_{\sigma 2}$ — поток рассеяния через зазор (зигзаг-рассеяние);

b_n, b_z — ширина паза и зубца;

δ — зазор.

Произведенные расчеты показывают, что при увеличенных зазорах поток рассеяния $\Phi_{\sigma 1}$ может составлять значительную часть от потока взаимоиндукции.

Следует отметить, что при переходе на уменьшенное по сравнению с реальной машиной число зубцов (ветвей) в расчетной модели нарушаются соотношения $\frac{\Phi_{\sigma 2}}{\Phi_{\sigma 1}}$ и $\frac{\Phi_{\sigma 2}}{\Phi_m}$, что нужно учитывать при расчете. По указанной методике было найдено:

а) для ЛАД

$$\frac{\Phi_m + \Phi_{\sigma 2}}{\Phi_m} = 1,1; \quad \frac{F'_n}{F_n} = 1,5,$$

где F'_n — уточненная (с учетом влияния потока рассеяния) н. с. паза;

б) для АО 2-41—2 с двухтоковым питанием

$$\frac{\Phi_m + \Phi'_{\sigma 2}}{\Phi_m} = 1,05; \quad \frac{F'_n}{F_n} = 1,25.$$

Итак, с помощью приведенных схем замещения возможна оценка взаимного влияния основного потока, полей шунтирования и рассеяния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Н. Сарапулов, Н. М. Пирумян, М. Г. Резин. Расчет магнитного поля в воздушном зазоре устройств с разомкнутым магнитопроводом в режиме холостого хода. Сборник материалов V Таллинского совещания по электромагнитным расходомерам и электротехнике жидких проводников. Таллин, 1972, вып. 6.

2. Ф. Н. Сарапулов, Н. М. Пирумян, Ю. В. Барышников. Расчет характеристик холостого хода индукционных двигателей на основе магнитных схем замещения. «Электричество», 1973, № 2.

3. И. С. Мосевичкий, С. Б. Элюким. Об одной задаче нелинейного программирования. «Техническая кибернетика», 1965, № 4.

4. П. С. Сергеев, Н. В. Виноградов, Ф. А. Горяинов. Проектирование электрических машин, М., «Энергия», 1969.
